



Universidade Federal de Viçosa
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Solos

**Metais Pesados em Solos do Brasil: Influência
do Material de Origem e Valores Anômalos**

Jaime W. V. de Mello
Walter A. P. Abrahão
João Carlos Ker
Liovando M. da Costa
Maurício P. F. Fontes

1. Introdução




*SOLO é o produto de alteração
(INTEMPERISMO) das rochas
na superfície da Terra*



*e tudo começa em uma
escala bem
pequena ...*

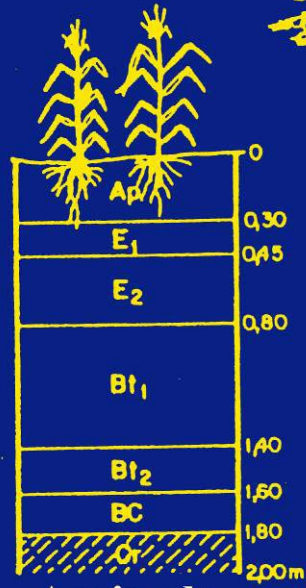




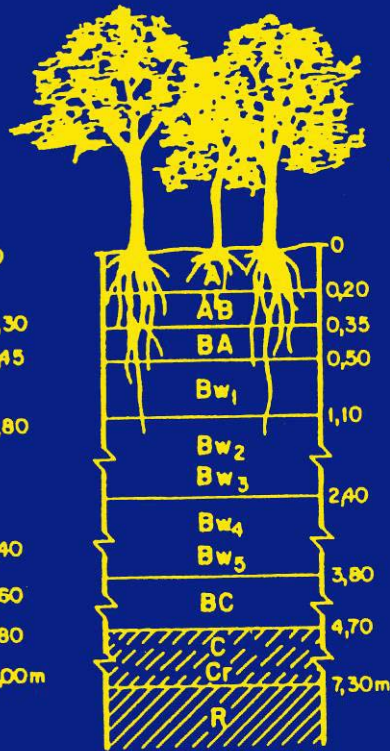
*E com o passar de
milhões de noites
e dias ...*



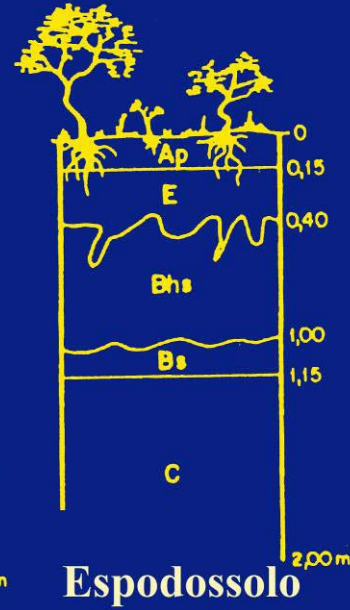
*..... vários tipos de
solos se
desenvolvem ...*



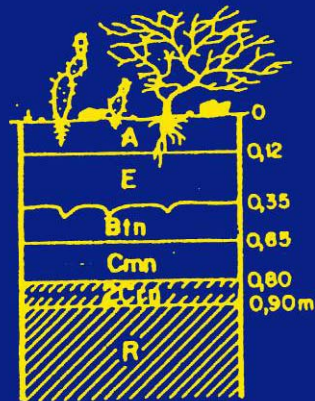
Argissolo



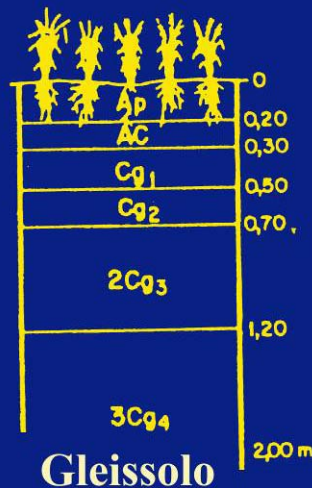
Latossolo



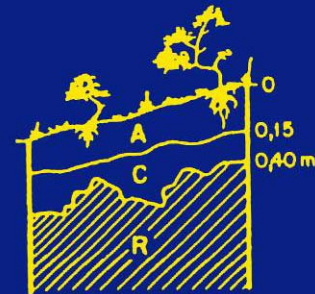
Espodossolo



**Planossolo
Nátrico**



Gleissolo



**Neossolo
Lítico**

Os Fatores que governam as diferenças entre os solos



LATOSSOLOS



Figura 29. Mapa esquemático¹ mostrando a distribuição dos Latossolos no Brasil (EMBRAPA, 1981).

70° 62° 54° 46° 38°



PODZÓLICOS

Argissolos

Alissolos

Luvisolos

Nitossolos

Figura 37. Mapa esquemático de ocorrência de solos Podzólicos no Brasil (EMBRAPA, 1981).

70°

62°

54°

46°

38°



**Latossolos
+
Podzólicos**

— 0°

— 8°

— 16°

— 24°

— 32°



- *Produtos do intemperismo são transportados pela água (rios e oceanos), em maior ou menor magnitude, dependendo de solubilidade (mobilidade)*

2. Influência do Material de Origem (ROCHA)

- *Elementos mais móveis são transportados aos Oceanos (Metais alcalinos e alcalino-terrosos); Na, K, Ca e Mg;*
- *Elementos menos móveis permanecem no Solo (Metais de transição): Fe e Al – geralmente na forma de Óxidos (Hematita, Goethita, Gibbsita)*
- *Silício tem mobilidade intermediária – tendem a permanecer silicatos mais pobres (Caulinita)*
- *Metais pesados e metalóides (?).*

● Variabilidade de elementos-traço nas Rochas

Quadro 1. Composição média e outros parâmetros dos teores de alguns elementos-traço em rochas basálticas da Bacia do Paraná

Elemento	Mediana	Média	Dispersão	Moda	Nº
	-----mg kg ⁻¹ -----				amostras
Ba ⁽¹⁾	385	535	111-2099	300-400	155
Co ⁽²⁾	38	43	5-99	40-50	109
Cr ⁽²⁾	125	136	25-500	140-160	109
Cu ⁽¹⁾	120	149	14-999	50-75	155
Ni ⁽¹⁾	38	48	2-350	40-60	155
Rb ⁽¹⁾	30	54	10-195	20-40	155
Sr ⁽¹⁾	350	429	123-1550	400-500	155
V ⁽²⁾	325	343	27-751	350-400	109
Zn ⁽¹⁾	112	149	10-332	100-125	155

(1) Teores totais Fluorescência de Raios-X e (2) Espectrografia Fotoelétrica de Emissão
FONTE: Rüegg, N.R. (Naturalia, 1976)

● *Variabilidade nos Solos:*

- *Até que ponto depende do Material de Origem?*
- *Relevo e Clima exercem influências?*
- *As diferentes classes de solo revelam influências?*
- *Teses UFV: Teógenes Oliveira*

João Carlos Ker

Quadro 2. Teores médios⁽¹⁾ de Cd, Cu, Pb e Zn em solos de uma topolitosseqüência do triângulo Mineiro⁽²⁾ (FONTE: Oliveira & Costa, 2004)

Solo		Material de Origem	Profund. (cm)	Cd Cu Zn Pb			
Nº	Classe			-----mg kg ⁻¹ -----			
2	PVA	Gnaisse	0-10	0,21	11	28	15
			50-60	0,48	21	42	23
3	PVA	Gnaisse	0-10	0,31	15	39	20
			50-60	0,40	16	41	20
12	LVd	Basalto	0-10	0,49	250	124	14
			50-60	0,57	254	126	15
13	LVd	Basalto	0-10	1,14	254	98	12
			50-60	1,13	287	107	14
22	LVdf	Sed. (Aren.)	0-10	0,53	18	14	9
			50-60	0,36	18	11	15
23	LVdf	Sed.(Aren.)	0-10	0,54	21	16	8
			50-60	0,52	18	13	14
CETESB		Referência		<0,5	-	60	17
		Alerta		3	-	300	100

⁽¹⁾HNO₃/
HClO₄ (4:1)
EAA;
⁽²⁾Bacia do
Paranaíba

Quadro 3. Teores de elementos-traço⁽¹⁾ no horizonte B de alguns Latossolos Brasileiros (FONTE: Ker, J.C. - Tese DS, 1995).

Solo		Material de Origem	Ni	Cu	Zn	Mn	Cr	Cd*	Pb
Nº	Classe		-----mg kg ⁻¹ -----						
K1	LR	Basalto (SP)	69	174	102	791	80	8	95
K2	LR	Basalto (SP)	56	178	122	1100	30	5	88
K6	LR	Anfibolito (MT)	38	52	82	170	177	11	114
K17	LR	Anfibolito (GO)	50	52	72	338	257	13	138
K18	LR/LE	Anfibolito (GO)	29	53	65	168	143	10	88
K23	LR	R. Básica (GO)	73	96	110	1712	221	17	184
K29	LR	Tufito (MG)	327	242	140	2917	350	8	115
K30	LF	Itabirito (MG)	0	21	33	293	34	8	96
K21	LU	Basalto (MG)	94	210	71	707	80	11	92
K24	LU	R. Básica (PA)	71	183	62	526	76	10	104
K25	LB	Basalto (PR)	57	265	86	472	63	7	75

K16	LE	Sedim. Arg (SP)	13	43	40	164	93	7	103
K22	LE	Calcário (MG)	75	80	52	141	118	8	111
K9	LU	Charnoq. (MG)	15	24	36	85	156	7	54
K13	LU	Tufito? (MG)	23	26	32	121	156	9	92
K15	LU	Sedim. Arg. (GO)	11	39	41	306	160	8	69
K3	LV	Sed. Arg. (MT)	10	34	23	118	30	9	54
K7	LV	Sed. Arg. (SP)	9	19	60	376	59	9	65
K8	LV	Sed. Arg. (GO)	15	36	40	193	109	8	31
K11	LV	Gnaisse (MG)	36	45	42	209	169	9	50
K20	LA/LV	Sed. Arg. (PA)	11	16	43	96	18	10	92
K4	LP	Sed. Arg. (GO)	15	19	29	47	84	10	73
K5	LP	Sed. Arg. (MG)	11	22	27	98	190	9	65
CETESB		Referência	13	Cu	60	Mn	40	0,5	17
		Alerta	30		300		75	3	100

(1) Teores totais por ataque ácido (HNO₃-HF-H₂SO₄-HCl) e determinação por EAA

** Valores possivelmente superestimados;*

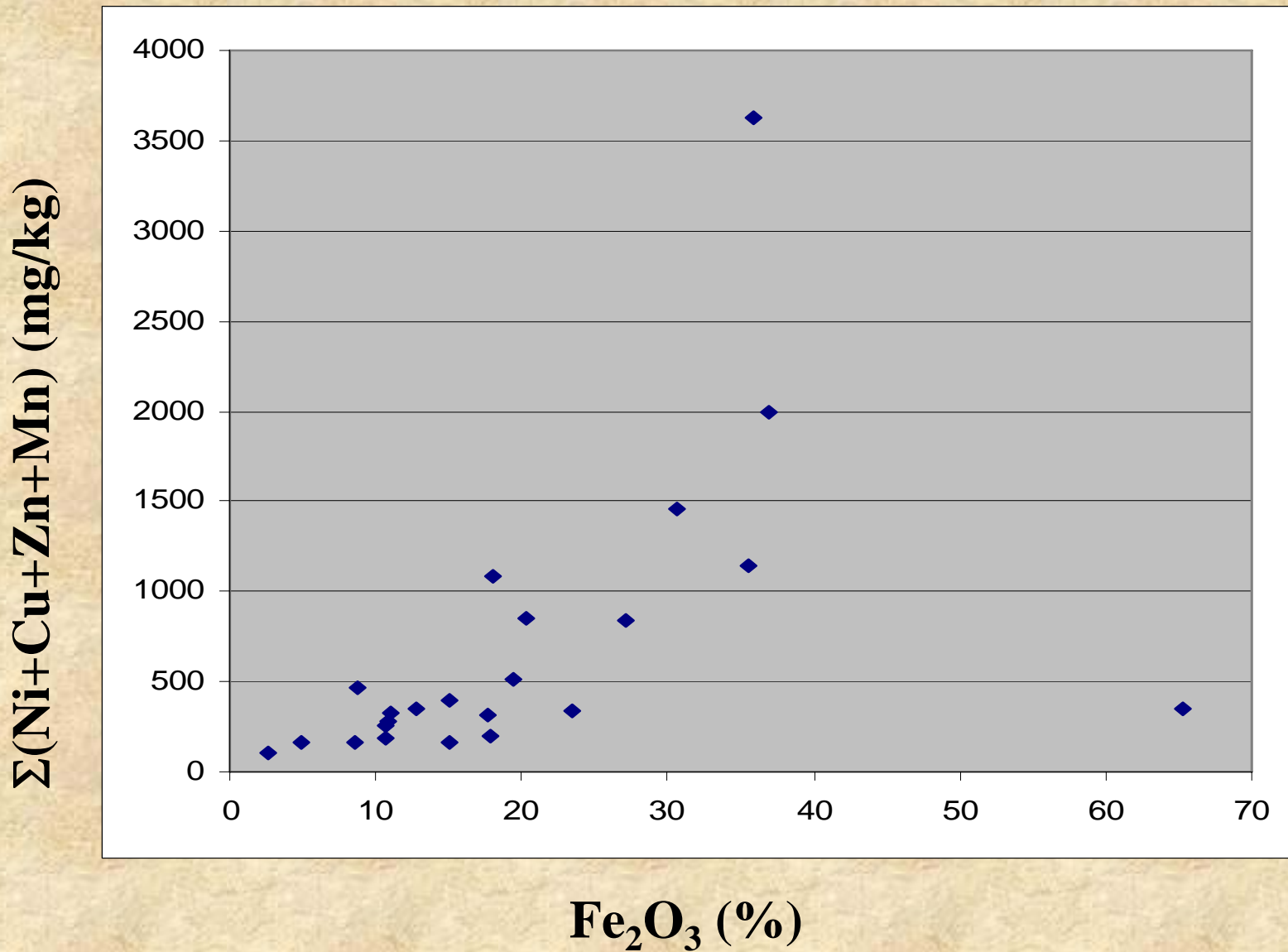


Fig. 1. Relação entre os teores de Fe e demais elementos-traço no horizonte B de Latossolos Brasileiros (Ker, 1995)

Quadro 9 – Teores totais⁽¹⁾ de Mn Cr e Ni em Latossolos de MG e ES

Solo	Procedência	Mn	Cr	Ni
		-----mg kg ⁻¹ -----		
LVA	Sete Lagoas (MG)	331 ± 5,7	114 ± 3,6	34 ± 2,4
LVA	João Pinheiro (MG)	144 ± 1,5	56 ± 4,8	29 ± 0,9
LVA	Oratórios (MG)	181 ± 1,2	174 ± 10,7	71 ± 8,0
LA	Linhares (ES)	49 ± 0,4	8,5 ± 0,2	n.d.
<i>Referência</i>		-	40	13
CETESB	<i>Alerta</i>	-	75	30

⁽¹⁾ HNO₃/HF/HCl

FONTE: Corrêa, M.L.T. (Tese Ds, 2006)



Figura 18 – Vista parcial da EMBRAPA em Sete Lagoas-MG, onde foi coletada uma das amostras de LVA utilizada no ensaio da soja.



Figura 15 – Vista parcial do CECA/UFV em Oratórios-MG, onde foi coletada a amostra de LVA utilizada no ensaio da cana-de-açúcar.



Figura 16 – Coleta do horizonte A do LVA no CECA em Oratórios-MG.

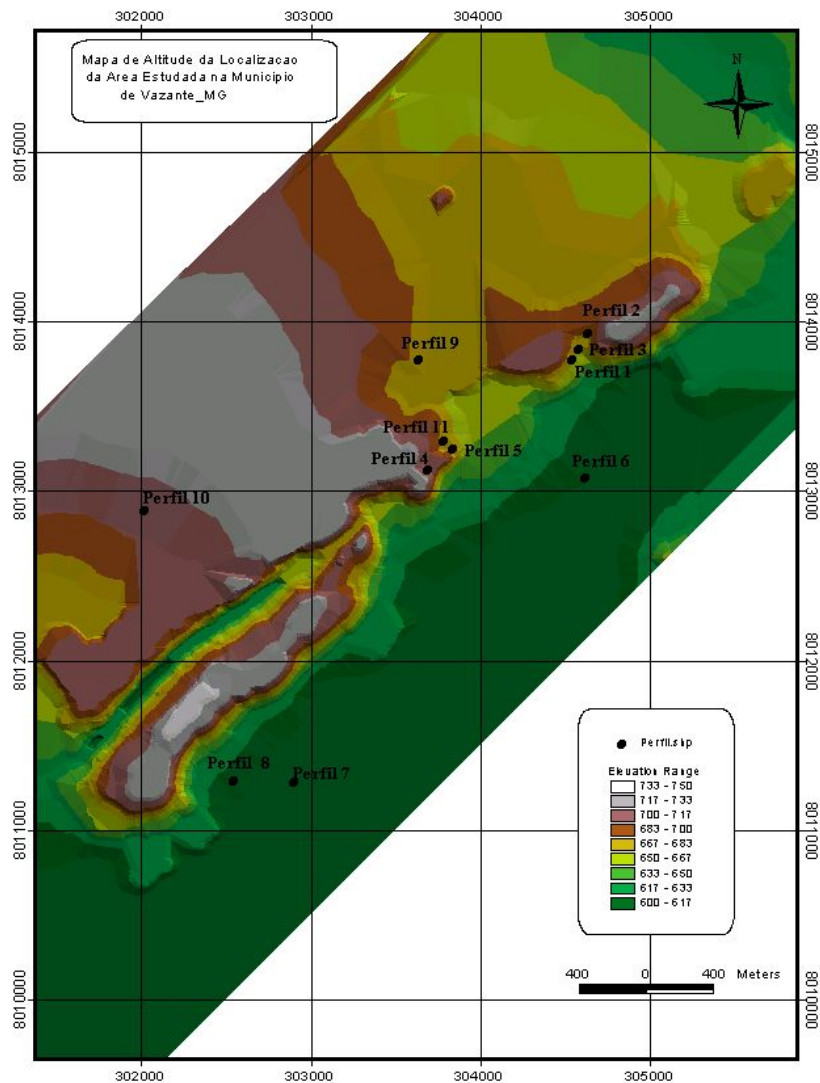


Figura 10 – Canavial da LASA em linhares-ES, onde foi coletada amostra de LA utilizada no ensaio de cana-de-açúcar.



Figura 14 – Perfil do LA na LASA em linhares-ES.

3. Valores Anômalos



Vazante, MG

- *Neossolo Litólico*
- *Cambissolo Háptico*
- *Cambissolo Háptico*
- *Cambissolo Húmico*
- *Cambissolo/Neossolo Húmico*
- *Latossolo Vermelho*
- *Neossolo Flúvico*
- *Latossolo Vermelho*
- *Argissolo Vermelho*
- *Latossolo Vermelho*
- *Cambissolo Háptico*

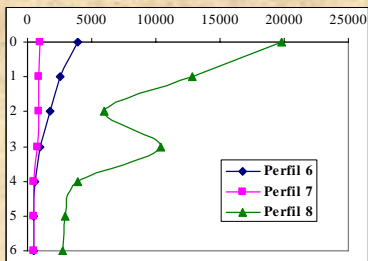
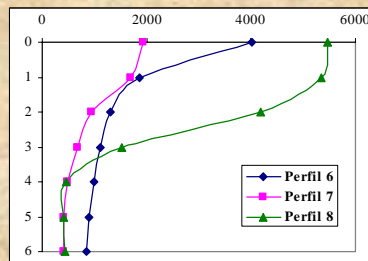
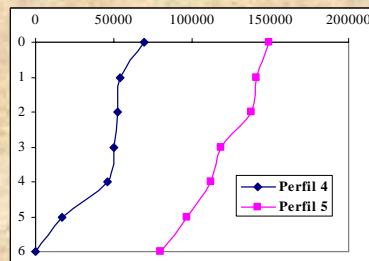
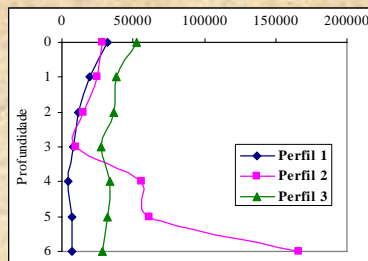
A. M. não explorada

A. M em exploração

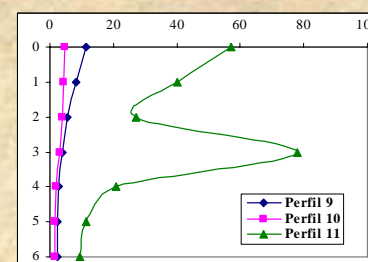
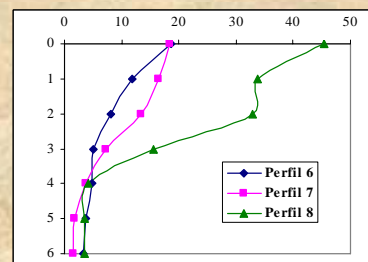
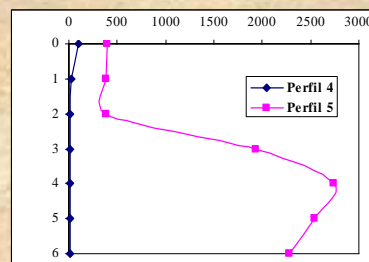
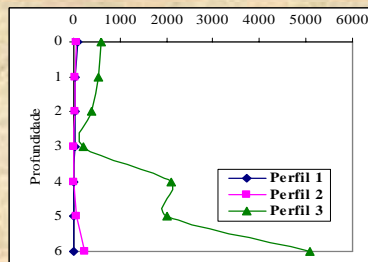
Jusante

Montante

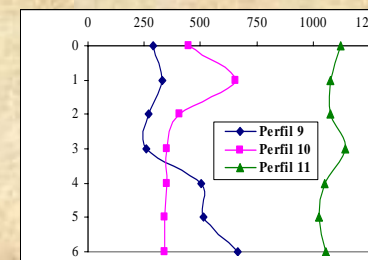
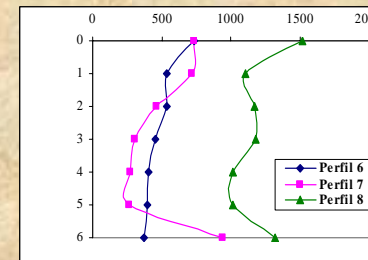
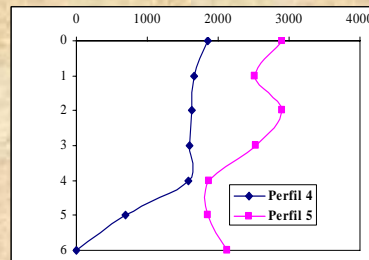
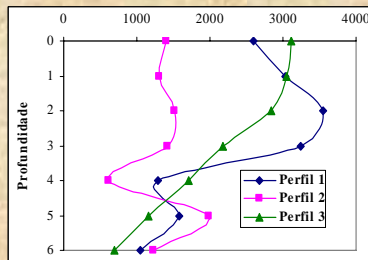
Zn



Cd



Pb



FONTE: Borges Jr. (Tese DS, 2002)

Quadro 4 – Médias ponderadas das concentrações de Zn (mg/kg), obtidas para as formas disponíveis (Mehlich-3 e DTPA) e total

Perfil	Teores disponíveis				Teores Totais	
	Mehlich-3		DTPA		HF-HNO ₃ -HCl	
	Camadas (cm)					
	0-20	20-150	0-20	20-150	0-20	20-150
----- mg/kg -----						
Área mineralizada não explorada						
1	2.617	121	249	40	12.844	6.288
2	3.721	17.998	434	518	15.286	100.186
3	8.031	7.400	412	367	33.925	30.819
Área mineralizada em exploração						
4	11.187	9.357	536	464	52.935	27.861
5	25.219	21.082	687	615	129.768	93.956
Área a jusante						
6	218	35	114	1,64	1.559	898
7	228	52	95	8,95	1.017	430
8	957	36	176	2,82	3.162	431
Área a montante						
9	892	27	160	0,76	1.690	513
10	226	22	162	0,94	832	457
11	4.750	332	552	60	10.586	3.084

Quadro 5 – Médias ponderadas das concentrações de Cd, obtidas para as formas disponíveis (Mehlich-3 e DTPA) e total

Perfil	Disponível				Total	
	Mehlich-3		DTPA		HF-HNO ₃ -HCl	
	Camada (cm)					
	0-20	20-150	0-20	20-150	0-20	20-150
-----mg/kg -----						
Área mineralizada não explorada						
1	6,19	0,80	2,99	0,35	31,40	10,52
2	6,22	5,26	2,83	1,00	20,86	113,04
3	119,71	1379,44	78,62	334,77	344,50	3.220,03
Área minerada em exploração						
4	6,03	4,35	1,47	0,82	24,27	10,53
5	255,29	1.454,10	38,43	66,86	1.158,79	2.487,26
Área a jusante do empreendimento						
6	2,38	0,73	0,82	0,04	8,20	3,80
7	3,82	0,38	4,48	0,26	11,29	2,08
8	15,40	0,28	9,42	0,08	25,55	3,63
Área a montante do empreendimento						
9	2,16	0,24	1,00	0,01	5,80	2,44
10	0,94	0,15	0,71	0,01	3,70	1,64
11	11,86	1,59	7,47	0,72	57,38	12,72

Quadro 6 – Médias ponderadas das concentrações de Pb (mg/kg), obtidas para as formas disponíveis (Mehlich-3 e DTPA) e total

Perfil	Disponível				Total	
	Mehlich-3		DTPA		HF-HNO ₃ -HCl	
	0-20	20-150	0-20	20-150	0-20	20-150
	----- mg/kg -----					
Área Mineralizada não explorada						
1	137,72	126,53	11,37	8,58	3.224	1.312
2	75,64	71,87	9,05	15,60	1.429	1.381
3	139,08	68,61	42,77	44,09	2.566	1.112
Área Minerada em exploração						
4	24,13	38,68	2,60	38,59	1.637	874
5	195,88	142,36	7,87	16,45	2.659	1.966
Área a jusante do empreendimento						
6	18,44	12,80	19,14	13,39	514	390
7	54,43	3,26	55,52	2,96	450	526
8	61,86	50,22	52,26	31,96	1.203	1.132
Área a montante do empreendimento						
9	15,65	3,38	12,53	4,05	275	569
10	54,43	3,26	55,52	2,96	450	526
11	51,85	67,61	5,08	55,45	1.115	1.044

Quadro 7 – Comparação dos valores de referência para Zn, Cd e Pb para a região de Vazante com os valores de São Paulo

Elem	Vazante	Estado de São Paulo				
	VRL ⁽¹⁾	VRQ ⁽²⁾	VA ⁽³⁾	VI ⁽⁴⁾		
				Ag./A P M	Residencial	Industrial
Zn	1.262	60	300	500	1.000	1.500
Cd	4,8	<0,5	3	10	15	40
Pb	347,6	17	100	200	350	1.200

(1)Valores de referência local (média dos perfís 9 e 10 a montante)

(2)Valores de referência de qualidade, de alerta e de intervenção (CETESB, 2001)

Quadro 8. Teores de As em solos de áreas de mineração de ouro⁽¹⁾

Sample	Description	Geographical situation	Total As ^(a)	Leachable As ^(b)
			---- mg/kg soil ---	
1	Surface Inceptisol	PF upstream	560	0.72
2	Surface Inceptisol	PF	300	0.16
3	Subsurface Inceptisol	PF	110	0.01
4	Surface Inceptisol	PF downstream	870	0.14
5	Surface Entisol	PF downstream	420	0.38
7	Surface Inceptisol	BIF nat. reserve	500	0.15
8	Subsurface Inceptisol	BIF nat. reserve	370	0.01
9	Surface Inceptisol	BIF nat. reserve	50	0.02
10	Subsurface Inceptisol	BIF nat. reserve	30	0.00
11	Surface Inceptisol	BIF nat. reserve	180	0.11
12	Surface Inceptisol	BIF nat. reserve	220	0.00
13	Surface Inceptisol	RMS mine area	130	0.35
14	Subsurface Inceptisol	RMS mine area	70	0.11
15	Surface Inceptisol	RMS mine area	180	0.65
16	Subsurface Inceptisol	RMS mine area	110	0.25

⁽¹⁾ MG, Brazil; ^(a) HNO₃/HCl (3:1); ^(b) CaCl₂ 2.5 mM

FONTE: Santana Filho (Tese DS, 2005)

4. Capacidade Máxima de Adsorção para Metais Pesados em Solos

Quadro 10. Capacidade máxima de adsorção⁽¹⁾ para alguns metais pesados em Latossolos de Minas Gerais.

Solos	Horizonte	Capacidade Máxima de Adsorção (mg kg ⁻¹)			
		Cd	Cu	Ni	Pb
LB	A	3,36	64,13	90,86	122,25
	B	4,48	68,58	40,71	64,23
LVwf	A	41,44	76,20	98,53	215,49
	B	22,40	45,08	83,19	124,32
LVe	A	22,40	203,2	115,05	70,45
	B	35,84	73,02	38,94	68,38
LAd	A	2,24	48,26	17,70	80,81
	B	5,60	45,08	60,77	47,66
LVj	A	38,08	15,24	28,32	213,42
	B	21,28	18,41	39,53	145,04
LVwf(2)	A	92,96	36,83	119,18	176,12
	B	6,72	21,59	55,46	97,38

⁽¹⁾ Parâmetro "b" da Isoterma de Langmuir. FONTE: Cadinelli, G. (Tese de MS, 2001).

Quadro 11. Coeficientes de correlação entre a CMA de metais pesados e algumas características dos solos.

Variáveis	Cd	Cu	Ni	Pb
pH	0,12	0,68**	0,31	-0,30
CTC efetiva	0,09	0,95**	0,55*	-0,23
CO	0,53**	0,14	0,41	0,24
Argila	-0,40	-0,12	0,02	-0,56*
Gibbsita	-0,20	0,31	-0,10	-0,79**
Caulinita	-0,26	-0,01	0,25	-0,21
Goethita	0,16	-0,39	-0,33	0,66*
Hematita	0,31	-0,37	-0,22	0,75**

, Significativo a 5 e 1%, respectivamente*

FONTE: Cadinelli, G. (Tese MS, 2001)

5. Conclusões e Recomendações



- *O background para metais pesados em solos guarda certa relação com o material de origem e pode estar correlacionado com algumas características dos solos tais como: CTC, teor de argila, m.o. e óxidos de Fe.*
- *Os valores de referência devem ter caráter regional, sendo que, em nível local, podem ocorrer valores anômalos independente de contribuição antropogênica.*
- *Sugere-se considerar as classes de solos mais representativas dentro de cada formação geológica e, ou bacia hidrográfica como unidades amostrais para a determinação dos valores de referência.*



- *A Capacidade Máxima de Adsorção ou parâmetro correlacionado (K_d ?) deve ser considerado na derivação dos valores de alerta ou equivalente, tendo em vista a proteção de aquíferos.*
- *Valores de alerta ou equivalente podem ser úteis no estabelecimento de limites seguros para a reciclagem de resíduos em solos.*



6. Agradecimentos

- *Aos colegas e alunos do Depto de Solos, da UFV;*
- *Aos órgãos financiadores da pesquisa (CNPq, CAPES, FAPEMIG);*
- *À Fundação Estadual do Meio Ambiente-MG (FEAM);*
- *Aos organizadores e patrocinadores do evento;*
- *A todos, pela atenção.*



Figura 20 – Disposição dos vasos para cultivo da soja em casa-de-vegetação do DPS/UFV.



Figura 21 – Detalhe da germinação da soja cultivada em casa-de-vegetação do DPS/UFV.



Figura 22 – Cultivo da soja em casa-de-vegetação do DPS/UFV.



Figura 23 – Colheita da soja cultivada em casa-de-vegetação do DPS/UFV. Foram coletados separadamente folhas, grãos e caule.



Figura 24 – Cultivo da cana-de-açúcar em casa-de-vegetação do DPS/UFV.



Figura 25 – Detalhe do cultivo da cana-de-açúcar em casa-de-vegetação do DPS/UFV. Foram plantadas duas mudas por vaso.



Figura 26 – Cana-de-açúcar com aproximadamente 2 meses de cultivo.



Figura 27 – Cana-de-açúcar com aproximadamente 6 meses de cultivo.